

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประเมินมูลค่าบริการของระบบนิเวศ บริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพร
จังหวัดระนอง และจังหวัดชุมพร

Valuation of Ecosystem Services in Klongchumphon Watershed,
Ranong and Chumphon Province

ธำรงค์ รื่นสุคนธ์^{1*}ยงยุทธ ไตรสุรัตน์²นิพนธ์ ตั้งธรรม¹เรืองไกร โตกฤษณะ¹Thamrong Ruensukon^{1*}Yongyut Trisurat²Nipon Tangtham¹Ruangrai Tokrisna¹¹โครงการสหวิทยาการ สาขาการใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

The graduate School, Sustainable Land Use and Natural Resource Management Center, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

²คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: tham_r@hotmail.com

รับต้นฉบับ 29 เมษายน 2558

รับลงพิมพ์ 2 มิถุนายน 2558

ABSTRACT

Forest area in Klongchumphon Watershed has been converted to para-rubber, oil palm and fruit orchard. Deforestation causes changes in water yield and sediment load in the stream. Severe floods frequently occurred in down stream every year.

The objectives of this research were to predict water yield, soil loss and to quantify economic value of nutrient depletion and sediment dredging in Klongchumphon Watershed, Ranong and Chumphon Province as the results of land-use change between 2012 and 2030. Three future land use scenarios were defined including 1) trends, 2) conservation, and 3) development. Geographic Information System (GIS), CLUE-S model, InVEST and USLE were used in this research. The results revealed that the scenario 1 increased area of para-rubber by 11.32 % and reduced forest area by 9.52 %. The converted forest was replaced by para-rubber by 7.73 %. In addition, the scenario 1 would provide annual water yield of 486.64 million m³ and generated sediment loss of 4.60 ton/rai/year. The cost to remove sediment out of the stream was 8.20 baht/rai. The estimated major nutrients loss (N-P-K) were 597.46, 0.01 and 0.22 kilogram/rai, respectively and the accumulated value of nutrients loss was 11,388 baht/rai.

The scenario 2 slightly increased rubber plantations (2.30 %) and forest area was stable. It generated annual water yield of 480.16 million m³ and sediment loss of 4.07 ton/rai/year. The cost to dredging was 7.27 baht/rai. The estimated major nutrients loss (N-P-K) were 529.47, 0.01 and 0.19 kilogram/rai respectively and the accumulated value of nutrients loss was 10,092 baht/rai.

The land-use scenario 3 substantially most reduced forest cover by 18.32 % and 9.91 % was converted to rubber plantations. The predicted annual water yield was 494.92 million m³ and the sediment load was 5.07 ton/rai/year. The cost to remove sediment in the stream channel (8.97 baht/rai) and the accumulated value of major nutrients loss (12,455 baht/rai) were the highest among the three land-use scenarios. Based on these findings, the land-use scenario 2 is appropriate for Klongchumphon Watershed because it would generated the least soil erosion and economic loss of soil fertilizers.

Keywords: CLUE-S InVEST and USLE model, Ecosystem Services, Scenario, Klongchumphon watershed

บทคัดย่อ

พื้นที่ป่าในลุ่มน้ำคลองชุมพร ถูกเปลี่ยนแปลงเป็นยางพารา ปาล์มน้ำมัน และสวนผลไม้ การทำลายป่าส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนในลำน้ำเพิ่มขึ้น เกิดปัญหาน้ำท่วมบริเวณพื้นที่ตอนล่างทุกปี

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า การชะล้างหน้าดิน และประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ การสูญเสียธาตุอาหาร และค่าใช้จ่ายในการขุดลอกตะกอน บริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพร จังหวัดระนองและจังหวัดชุมพร อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2555-2573 กำหนดภาพเหตุการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตที่ประกอบด้วย 1) การใช้ที่ดินตามแนวโน้มการใช้ที่ดินในอดีต (trends) 2) การใช้ที่ดินแบบอนุรักษ์ (conservation) และ 3) การใช้ที่ดินแบบพัฒนา (development) การวิจัยครั้งนี้ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) แบบจำลอง CLUE-S, InVEST และ USLE ผลการศึกษา ภาพเหตุการณ์ที่ 1 พบว่า พื้นที่ยางพาราขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.32 ขณะที่ป่าไม้ลดลงร้อยละ 9.52 โดยเปลี่ยนเป็นยางพารามากที่สุด ร้อยละ 7.73 การใช้ที่ดินตามภาพเหตุการณ์ที่ 1 ให้ปริมาณน้ำท่าต่อปี 486.64 ล้านลูกบาศก์เมตร และทำให้เกิดการสูญเสียดิน 4.60 ตัน/ไร่/ปี มีค่าใช้จ่ายในการขุดลอกตะกอน 8.20 บาท/ไร่ สูญเสียธาตุอาหารหลัก N P และ K จำนวน 597.46, 0.01 และ 0.22 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ คิดเป็นมูลค่ารวม 11,388 บาท/ไร่

ภาพเหตุการณ์ที่ 2 ทำให้พื้นที่ยางพาราเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ร้อยละ 2.3) แต่ป่าไม้ไม่เปลี่ยนแปลง ให้ปริมาณน้ำท่ารายปี 480.16 ล้านลูกบาศก์เมตร สูญเสียดิน 4.07 ตัน/ไร่/ปี ค่าใช้จ่ายในการขุดลอกตะกอน 7.27 บาท/ไร่ และสูญเสียธาตุอาหาร N P และ K เท่ากับ 529.47, 0.01 และ 0.19 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ คิดเป็นมูลค่ารวม 10,092 บาท/ไร่

การใช้ที่ดินตามภาพเหตุการณ์ที่ 3 ทำให้พื้นที่ป่าไม้ลดลงอย่างมาก ร้อยละ 18.32 โดยร้อยละ 9.91 เปลี่ยนเป็นยางพารา คาดการณ์ว่าได้ปริมาณน้ำท่ารายปี 494.92 ล้านลูกบาศก์เมตร อัตราการสูญเสียดิน 5.07 ตัน/ไร่/ปี ค่าใช้จ่ายในการขุดลอกตะกอนจากลำธาร (8.97 บาท/ไร่) และมูลค่ารวมของการสูญเสียธาตุอาหารหลักมากที่สุดจาก 3 ภาพเหตุการณ์ของการใช้ที่ดิน (12,455 บาท/ไร่) ดังนั้น รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินตามภาพเหตุการณ์ที่ 2 จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับลุ่มน้ำคลองชุมพร เนื่องจากมีปริมาณตะกอนและมูลค่าการสูญเสียธาตุอาหารของดินน้อยที่สุด

คำสำคัญ: แบบจำลอง CLUE-S, InVEST และ USLE บริการของระบบนิเวศ ภาพเหตุการณ์ ลุ่มน้ำคลองชุมพร

คำนำ

บริการของระบบนิเวศ (ecosystem services) เป็นคุณค่าและหน้าที่ของระบบนิเวศที่เอื้ออำนวยประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตและให้ความสุขแก่มนุษย์ ประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ บริการด้านเสบียง (provisioning service) บริการด้านการควบคุม (regulating service) บริการด้านสนับสนุน (supporting service) และด้านวัฒนธรรมและนันทนาการ (culture and recreation service) (World Resources Institute, 2005)

ลุ่มน้ำคลองชุมพร เป็นแหล่งต้นน้ำที่สำคัญ มีคลองชุมพรเป็นลำน้ำสายหลัก ไหลจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ผ่านตัวเมืองชุมพรซึ่งเป็นพื้นที่รับน้ำก่อนจะไหลลงสู่ทะเล ในพื้นที่ลุ่มน้ำมีปัญหาการบุกรุกพื้นที่ป่าเพื่อปลูกยางพารา ปลูกมัน และสวนผลไม้ ทำให้ความสามารถในการกักเก็บน้ำของดินตามธรรมชาติลดลง (Tangtham, 1984) ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนในลำน้ำเพิ่มขึ้น เกิดปัญหาน้ำท่วมบริเวณพื้นที่ตอนล่างทุกปี

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการประเมินเชิงปริมาณของบริการของระบบนิเวศ บริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพรที่สำคัญ 3 ด้าน ประกอบด้วย ปริมาณน้ำท่า การอนุรักษ์หน้าดิน และการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน ของรูปแบบการใช้ที่ดินในปัจจุบัน และตามภาพเหตุการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต ประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ การสูญเสียธาตุอาหาร และค่าใช้จ่ายในการขุดลอกตะกอนที่เกิดจากการชะล้างพังทลายของดิน และเสนอแนะรูปแบบการใช้ที่ดินที่เหมาะสม สำหรับการใช้ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพรในอนาคต

อุปกรณ์ และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำคลองชุมพร ตั้งอยู่ที่อำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง และอำเภอเมือง จังหวัดชุมพร เนื้อที่ประมาณ 300 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วย 3 ลุ่มน้ำย่อย คือ ลุ่มน้ำคลองท่าไม้ลาย ลุ่มน้ำคลองกุ่ม และลุ่มน้ำคลองหินไล่

ลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาและที่ราบ ระดับความสูง 12-603 เมตร (MSL) ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,942 มิลลิเมตร ลักษณะภูมิอากาศมี 2 ฤดู คือ ฤดูร้อน และฤดูฝน (Meteorological Department, 2012) ปริมาณน้ำท่าวัดที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า X.53A บริเวณบ้านวังไผ่ อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร เฉลี่ย 376.47 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพามากับน้ำ (delivered sediment) เฉลี่ย 43,143.33 ตันต่อปี (Royal Irrigation Department, 2012)

การรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ ประกอบด้วย แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ลำดับชุด L7018 ของกรมแผนที่ทหาร ระหว่าง 4729 I, 4730 II และ 4830 III แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2555 และข้อมูลชุดดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศปี พ.ศ. 2545 แผนที่ป่าสงวนแห่งชาติ และแผนที่ป่าอนุรักษ์ จากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat-5TM ปี พ.ศ. 2555 จากองค์การเทคโนโลยีอวกาศและสารสนเทศมหานชน ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอน จากกรมชลประทาน เป็นต้น

การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเกี่ยวกับความต้องการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยการจัดประชุมกลุ่ม (focus group) แล้วเลือกตัวแทนเข้าร่วมประชุมแบบเจาะจงตัวบุคคลที่เป็นผู้ให้ข้อมูลหลัก (key informants) และตัวแทนของแต่ละตำบลที่ผู้นำชุมชนเป็นผู้คัดเลือกจาก 5 ตำบล ครอบคลุมทุกประเภทการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ รวม 30 คน ใช้แบบสัมภาษณ์และจดบันทึก แบ่งเป็น 5 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มเกษตรกร 7 คน กลุ่มประชาชนทั่วไป 5 คน กลุ่มผู้นำท้องถิ่น 5 คน กลุ่มผู้แทนองค์การบริหารส่วนตำบล 5 คน และกลุ่มนักวิชาการ 8 คน

เก็บข้อมูลดินในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ (slope complex) และตามลักษณะทางธรณีวิทยา (Geology) 2 ประเภท คือ หินยุค Permian

และหินยุค Permian carboniferous รวมจำนวน 14 จุด ๆ ละ 2 ตัวอย่าง ที่ระดับความลึก 30 และ 60 เซนติเมตร พร้อมทั้งวัดระดับความลึกของดิน แล้วนำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

แปลตีความภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat-5TM ปี พ.ศ. 2555 ด้วยสายตา (visual interpretation) ตรวจสอบความถูกต้องของการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียมภาคสนาม (ground truth) โดยใช้วิธีสุ่มตัวอย่างแบบตามชั้นภูมิ (stratified random sampling) ของข้อมูลการใช้ที่ดิน รวม 167 จุด ครอบคลุมทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ ป่าไม้ 7 จุด ยางพารา 23 จุด ปาล์มน้ำมัน 30 จุด สวนผสม 88 จุด นาข้าว 2 จุด ชุมชน 8 จุด และอื่นๆ 9 จุด และใช้ GPS เป็นเครื่องมือช่วยหาตำแหน่งภาคพื้นดิน แล้วนำไปประเมินความถูกต้อง (classification accuracy) และจัดระดับการยอมรับตามค่าดัชนีแคปปา (Kappa Index)

การวิเคราะห์ข้อมูล

จัดทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในอดีต (พ.ศ. 2543) และแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปัจจุบัน (พ.ศ. 2555) โดยการนำเข้าข้อมูลขอบเขตลุ่มน้ำหลัก ขอบเขตลุ่มน้ำย่อย ขอบเขตการใช้ประโยชน์ที่ดิน บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (on-screen digitizing) และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินจากการแปลตีความเปรียบเทียบกับข้อมูลในภาคสนาม

ใช้แบบจำลอง CLUE-S (Veldkamp and Fresco, 1996; Verburg *et al.*, 1999) คาดคะเนการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต (พ.ศ. 2573 หรือ ค.ศ. 2030) ตามปัจจัยนำเข้า ดังนี้ (1) กำหนดปริมาณความต้องการการใช้ที่ดิน (land use requirement: demand) โดยกำหนดภาพเหตุการณ์การใช้ที่ดิน 3 แบบ คือ ภาพเหตุการณ์การใช้ที่ดินตามแนวโน้มการใช้ที่ดินในอดีต (trends) ภาพเหตุการณ์การใช้ที่ดินแบบอนุรักษ์ (conservation) และภาพเหตุการณ์การใช้ที่ดินแบบพัฒนา (development) (2) กำหนดให้พื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า อุทยานแห่งชาติในกรม กรมหลวงชุมพร ด้านทิศใต้ และเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าทุ่งระยะ-นาสัก เป็นพื้นที่หวงห้าม (restrictions) (3) ความยากง่ายของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (conversion elasticity)

และลำดับของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (land use transition sequences) และ (4) ประเมินความน่าจะเป็นของการใช้ที่ดิน (location characteristics) ตามภาพเหตุการณ์และข้อกำหนดข้างต้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ประกอบด้วยแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (digital elevation model: DEM) ขนาด 30 × 30 เมตร ทิศด้านลาด (aspect) ความลาดชัน (slope) ความลึกของดิน (soil depth) ปริมาณน้ำฝนรายปี (annual rainfall) ระยะห่างจากทางน้ำ (distances from river) ระยะห่างจากถนน (distances from road) และระยะห่างจากชุมชน (distances from village) และวิธีการทางสถิติ logistic regression ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และแสดงผลในรูปแบบแผนที่ด้วยโปรแกรม ArcGIS

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้แบบจำลอง InVEST (Tillis *et al.*, 2011) และโปรแกรม ArcGIS คาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในอนาคต (พ.ศ. 2573 หรือ ค.ศ. 2030) โดยมีปัจจัยนำเข้า ดังนี้ ปริมาณน้ำฝน (precipitation) ความลึกของดิน (soil depth) การกักเก็บน้ำของพืช (plant available water content) การคายระเหยน้ำ (average annual potential evapotranspiration) การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (land use/land cover) ขอบเขตลุ่มน้ำหลัก (watershed) ขอบเขตลุ่มน้ำย่อย (sub-watershed) ตารางชีวกายภาพ (Biophysical Table) และค่าคงที่ของซาง (Zhang constant)

ใช้สมการการสูญเสียดินสากล Universal Soil Loss Equation : USLE (Wischmeier and Smith, 1978) และโปรแกรม ArcGIS ประเมินการกัดชะหน้าดินในอนาคต (พ.ศ. 2573 หรือ ค.ศ. 2030) โดยใช้ปัจจัยนำเข้า ดังนี้ ปัจจัยการชะล้างพังทลายของฝน (rainfall erosivity) ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (soil erodibility) ปัจจัยความลาดชันของพื้นที่ (slope length and slope steepness) ปัจจัยการจัดการพืช (crop management factor) และปัจจัยการปฏิบัติป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน (conservation practice factor) และประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์บริการของการสูญเสียหน้าดิน เพื่อหามูลค่าต้นทุนการขุดลอก

ตะกอนในลำธาร และต้นทุนการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดิน (ธาตุอาหาร N P และ K) โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Nuanmano (2013) เพื่อกำหนดทางเลือกรูปแบบการใช้ที่ดินที่เหมาะสม

ผลและวิจารณ์

รูปแบบการใช้ที่ดินในปัจจุบัน (พ.ศ. 2555)

ผลการแปลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat - 5TM สามารถจำแนกรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพร ออกเป็น 7 ประเภท โดย

มีสัดส่วนพื้นที่ป่าไม้มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 43.89 รองลงมาเป็นสวนผสม ยางพารา ปาล์มน้ำมัน ชุมชนอื่นๆ และนาข้าว คิดเป็นร้อยละ 24.46, 18.43, 9.82, 2.18, 1.19 และ 0.04 ตามลำดับ มีความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม (overall accuracy) ร้อยละ 86.83

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 8 ปัจจัย และการใช้ที่ดิน 7 ประเภท ด้วยสมการถดถอยโลจิสติก (logistic regression) บริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพร ปี พ.ศ. 2555 ได้ค่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าสัมประสิทธิ์ตาม Table 1

Table 1 β values of significant location factors for regression results related to each land use location.

Variables	Forest	Rubber	Oil Palm	Fruit orchard	Paddy field	Urban	Other
Elevation	0.03561	-0.01626	-0.02788	-0.01692	n.s.	n.s.	-0.02921
Slope	0.04729	n.s.	n.s.	-0.03495	n.s.	-0.17012	-0.00927
Aspect	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0.00114	n.s.
Soil depth	n.s.	-0.02543	n.s.	n.s.	n.s.	-0.01332	-0.00223
Annual rainfall	n.s.	0.00191	-0.00067	n.s.	n.s.	-0.00012	-0.00041
Distance from road	n.s.	-0.00068	0.00037	n.s.	n.s.	0.00022	-0.00020
Distance from river	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.00020	-0.00087
Distance from village	n.s.	0.00065	n.s.	n.s.	-0.01099	-0.00026	0.00026
Constant	-5.87553	0.69319	2.86926	2.31188	9.04132	3.26045	2.72882
AUC*	0.973	0.831	0.850	0.835	0.992	0.863	0.878

Notes: n.s., not significant at 0.05 level; * AUC, area under curve of receiver operating characteristic

จาก Table 1 พบว่า สมการถดถอยโลจิสติกให้ค่าความสัมพันธ์ปัจจัยที่ตั้งของที่ดินไม่ครบทุกปัจจัย และแต่ละปัจจัยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทการใช้ที่ดิน เช่น พื้นที่ที่มีระดับสูงและความลาดชันมาก มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับพื้นที่ป่าไม้ แต่เป็นปัจจัยจำกัดต่อการเปลี่ยนเป็นการใช้ที่ดินประเภทอื่น ส่วนปัจจัยที่ไม่มีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ ได้แก่ ทิศด้านลาด ความลึกของดิน ปริมาณน้ำฝน ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ และระยะห่างจากชุมชน ในขณะที่ที่ตั้งของที่ดินที่มีฝนตกมากและอยู่ไม่ไกลจากชุมชน มีความเสี่ยงที่จะเปลี่ยนเป็นสวนยางพาราเพราะมีปัจจัยที่เหมาะสม

แต่ถ้าที่ดินตั้งอยู่ในที่สูงมาก ดินตื้น และอยู่ห่างไกลจากถนน ลำบากในการเข้าถึง จะเป็นปัจจัยจำกัดที่จะเปลี่ยนการใช้ที่ดินเป็นสวนยางพาราเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Trisurat *et al.* (2010) และ Trisurat and Duengkae (2011)

ค่า AUC เป็นค่าที่ใช้ในการอธิบายความถูกต้องของการคาดการณ์สมการถดถอยโลจิสติก โดยทั่วไปแล้วการยอมรับค่าความถูกต้อง มีค่าระหว่าง 0.7 ถึง 1 (Pontius and Schneider, 2001) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่มีค่า AUC สูง ได้แก่ นาข้าว (0.99) และป่าไม้ (0.97) ในขณะที่พื้นที่ที่มีค่า AUC สูง-ปานกลาง ได้แก่ พื้นที่อื่นๆ (0.88) ชุมชน (0.86) ปาล์มน้ำมัน (0.85) สวนผสม (0.84) และยางพารา (0.83) ตามลำดับ

การคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต (พ.ศ. 2573 หรือ ค.ศ. 2030)

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2555 ถึงปี พ.ศ. 2573 โดยใช้แบบจำลอง CLUE-S ตามความต้องการการใช้ที่ดินในอนาคต 3 ภาพเหตุการณ์ ประกอบด้วย การใช้

ที่ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มการใช้ที่ดินในอดีต (trends scenario) การใช้ที่ดินแบบอนุรักษ์ ซึ่งไม่มีการบุกรุกพื้นที่ป่า (conservation scenario) และการใช้ที่ดินแบบพัฒนา ที่มีการบุกรุกพื้นที่ป่าอย่างรุนแรง (development scenario) แสดงผลการวิเคราะห์ตาม Table 2 และ Figure 1

Table 2 Land use change in 2012 and 2030.

Land-use /Land-cover classes	Conversion elasticity	Land use in year 2012	Predicted land use in year 2030					
			Trends. ^{1/}		Conservation. ^{1/}		Development. ^{1/}	
			Area ^{2/}	D% ^{3/}	Area ^{2/}	D% ^{3/}	Area ^{2/}	D% ^{3/}
Forest	0.5	131.90	103.30	-9.52	131.89	0.00	76.84	-18.32
Para-rubber	0.6	55.38	89.38	+11.32	62.28	+2.30	82.96	+9.18
Oil palm	0.8	29.51	26.59	-0.97	26.09	-1.14	34.76	+1.75
Fruit orchard	0.4	73.51	71.74	-0.59	70.67	-0.95	94.15	+6.87
Paddy field	0.3	0.11	0.04	-0.02	0.07	-0.01	0.08	-0.01
Urban	1.0	6.55	6.56	0.00	6.65	+0.03	7.92	+0.46
Other	0.2	3.57	2.90	-0.22	2.86	-0.23	3.81	+0.08
Total	-	300.51	300.51	-	300.51	-	300.51	-

Notes: ^{1/} land-use scenario ^{2/} unit: km² ^{3/} compare with number of area in year 2012

Scenario 1: การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเปลี่ยนไปตามแนวโน้มของการใช้ที่ดินในอดีต พบว่าพื้นที่ป่าไม้จะมีอัตราการลดลงมากที่สุด รองลงมาเป็นปาล์มน้ำมัน สวนผสม พื้นที่อื่นๆ และนาข้าว คิดเป็นร้อยละ 9.52 0.97 0.59 0.22 และ 0.02 ตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่สวนยางพาราเพิ่มขึ้น ร้อยละ 11.32 และพื้นที่ชุมชนไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากขาดมาตรการป้องกันรักษาป่า สภาพภูมิประเทศเหมาะสมสำหรับปลูกยางพารา โดยพื้นที่ป่าไม้ที่ลดลงทั้งหมด (ร้อยละ 9.52) ส่วนใหญ่เปลี่ยนเป็นยางพารา รองลงมาเป็นสวนผสม พื้นที่อื่นๆ ปาล์มน้ำมัน นาข้าว และชุมชน คิดเป็นร้อยละ 81.21 17.39 0.79 0.43 0.13 และ 0.05 ตามลำดับ

Scenario 2: มีการป้องกันรักษาป่าไม้ที่เหลืออยู่อย่างเข้มงวด ดังนั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเล็กน้อย ได้แก่ สวนยางพาราและชุมชนเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 2.30 และ 0.03 ตามลำดับ โดยปาล์มน้ำมัน

สวนผสม พื้นที่อื่นๆ และนาข้าว ลดลงคิดเป็นร้อยละ 1.14 0.95 0.23 และ 0.01 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากไม่สามารถขยายพื้นที่เกษตรเข้าไปในพื้นที่ป่าไม้ได้ และสวนยางพารามีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ที่ดินประเภทอื่น เนื่องจากผลผลิตมีราคาแพง

Scenario 3: พื้นที่ป่าไม้มีอัตราการลดลงมากที่สุด รองลงมาเป็นนาข้าว คิดเป็นร้อยละ 18.32 และ 0.01 ตามลำดับ ในขณะที่ยางพารา สวนผสม ปาล์มน้ำมัน ชุมชน และพื้นที่อื่นๆ เพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 9.18 6.87 1.75 0.46 และ 0.08 ตามลำดับ ซึ่งพื้นที่ป่าไม้ที่ลดลงทั้งหมด (ร้อยละ 18.32) ส่วนใหญ่เปลี่ยนเป็นยางพารา รองลงมาเป็นสวนผสม ปาล์มน้ำมัน ชุมชน พื้นที่อื่นๆ และนาข้าว คิดเป็นร้อยละ 54.12 34.25 9.02 2.17 0.30 และ 0.14 ตามลำดับ โดยพื้นที่ป่าไม้ที่ลดลงส่วนใหญ่เป็นป่าสงวนแห่งชาติที่อยู่นอกเขตป่าอนุรักษ์ สภาพภูมิประเทศเป็นภูเขาไม่สูงชันมาก อยู่ใกล้ถนน แหล่งน้ำ และชุมชน

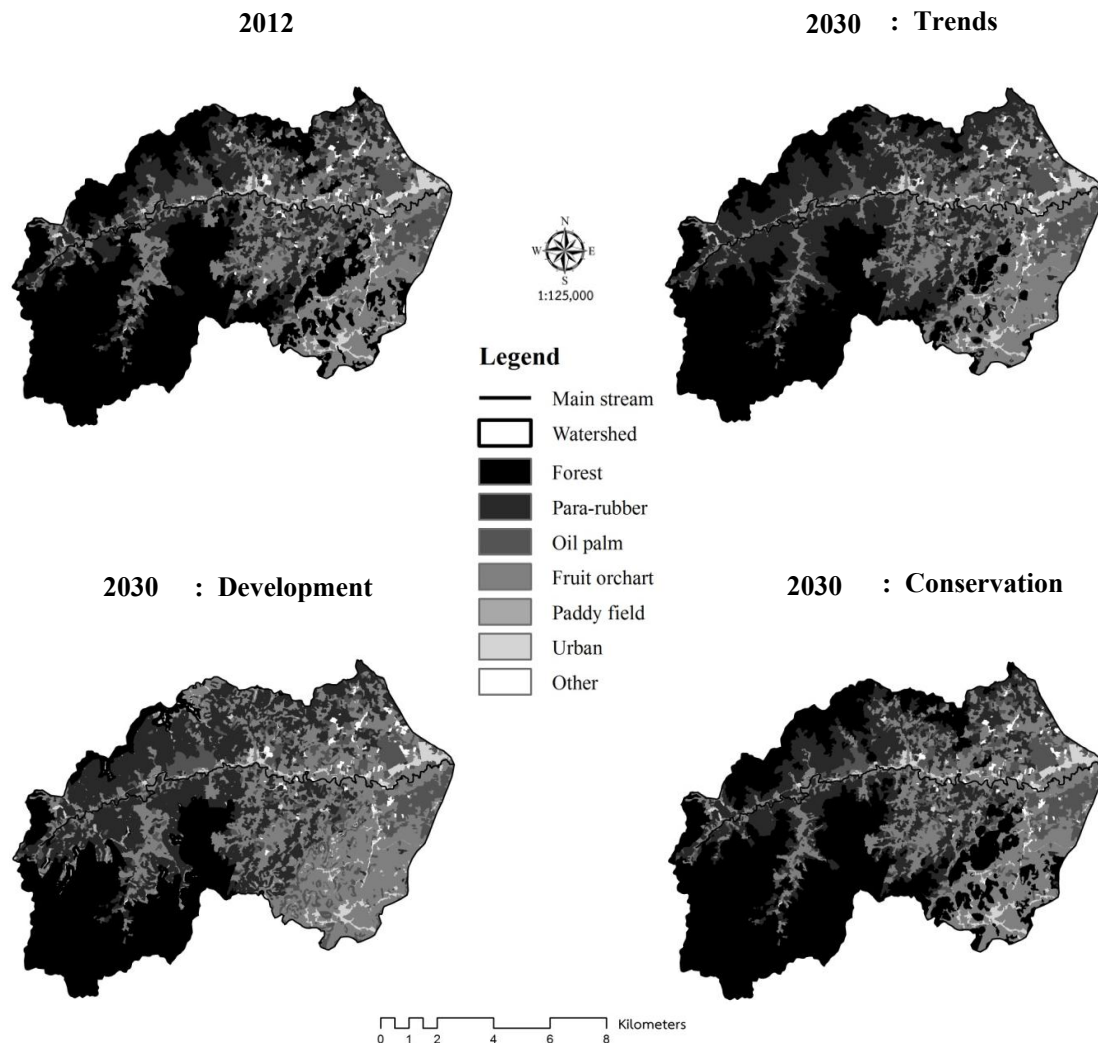


Figure 1 Land use patterns in 2030 simulated by CLUE-S model for Klongchumphon Watershed.

การคาดการณ์บริการของระบบนิเวศด้านปริมาณน้ำท่า (Water Yield)

ผลการประเมินบริการของระบบนิเวศด้านปริมาณน้ำท่า บริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพร ด้วยแบบจำลอง InVEST เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าปี พ.ศ. 2555 และปี พ.ศ. 2573 ตามภาพเหตุการณ์การใช้ที่ดิน และปริมาณน้ำฝนที่แตกต่างกัน คาดว่าในปี พ.ศ. 2555 ลุ่มน้ำคลองชุมพรจะให้บริการน้ำท่าปริมาณ 380-393 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,942 มิลลิเมตรต่อปี และ ปี พ.ศ. 2573 จะมีปริมาณน้ำท่า 480-494 ล้าน

ลูกบาศก์เมตร เมื่อมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 2,282 มิลลิเมตรต่อปี ในขณะที่ผลการตรวจวัดปริมาณน้ำท่าคลองชุมพร ปี พ.ศ. 2555 ที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า X.53A บ้านวังไผ่ อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร มีปริมาณน้ำท่า 337.50 ล้านลูกบาศก์เมตร (Royal Irrigation Department, 2012) ซึ่งปี พ.ศ. 2573 หากใช้ที่ดินแบบพัฒนา ระบบนิเวศบริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพรจะให้บริการน้ำท่ามากที่สุด รองลงมาเป็นการใช้ที่ดินเหมือนในอดีต และการใช้ที่ดินแบบอนุรักษ์จะให้ปริมาณน้ำท้าน้อยที่สุด ตามลำดับ ดังแสดงตาม Figure 2

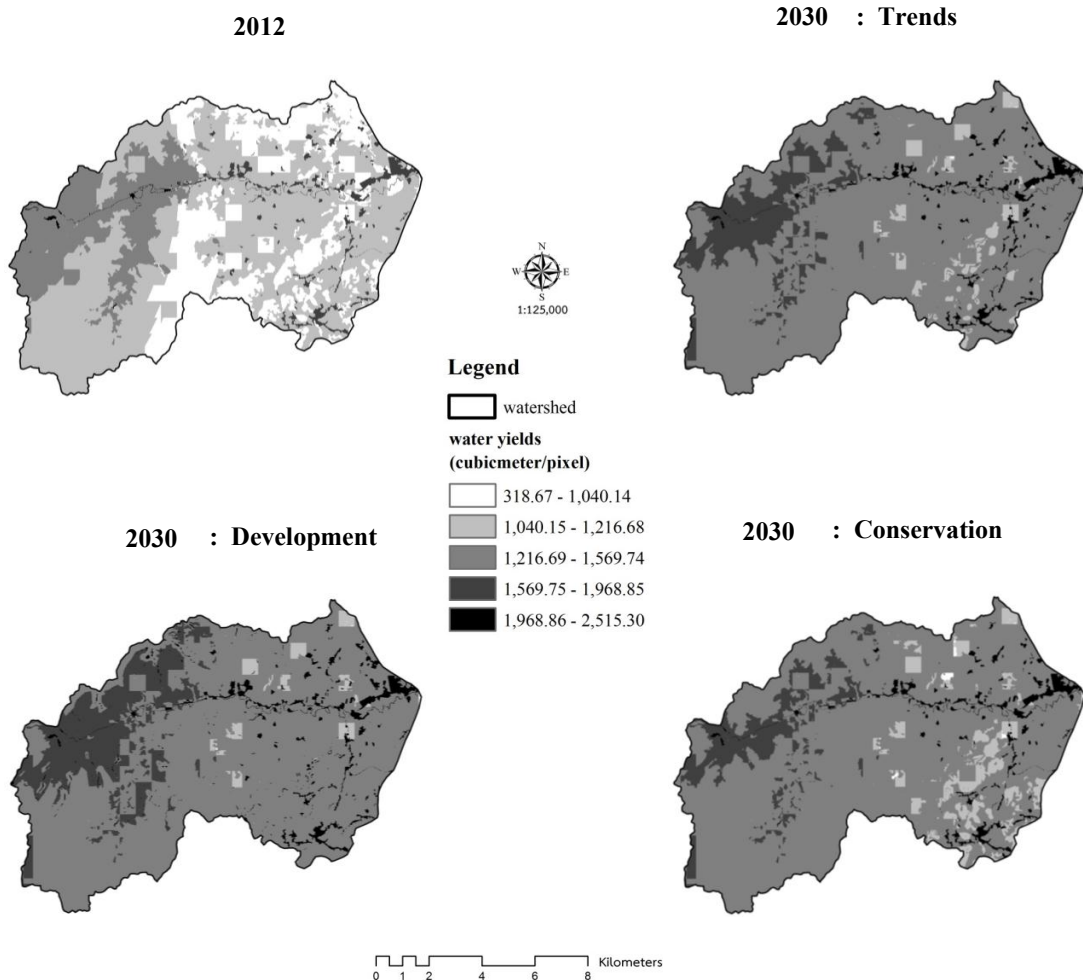


Figure 2 Water yield in 2030 simulated by InVEST model for Klongchumphon Watershed.

การคาดการณ์บริการของระบบนิเวศด้านการอนุรักษ์หน้าดิน (Sediment Retention)

ผลการประเมินบริการของระบบนิเวศด้านการอนุรักษ์หน้าดิน บริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพร ด้วยสมการการสูญเสียดินสากล (USLE) เพื่อคาดการณ์ปริมาณการสูญเสียดิน ปี พ.ศ. 2555 และ ปี พ.ศ. 2573 ตามภาพเหตุการณ์การใช้ที่ดินและปริมาณน้ำฝนที่แตกต่างกัน คาดว่าในปี พ.ศ. 2555 ลุ่มน้ำคลองชุมพรจะสูญเสียตะกอนดินปริมาณ 649,935 - 803,643 ตัน โดย

มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,942 มิลลิเมตรต่อปี และ ปี พ.ศ. 2573 จะสูญเสียตะกอนดินปริมาณ 764,967 - 944,119 ตัน เมื่อมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 2,282 มิลลิเมตรต่อปี โดยในปี พ.ศ. 2573 หากมีการใช้ที่ดินแบบพัฒนาจะมีปริมาณการสูญเสียตะกอนดินมากที่สุด รองลงมาเป็นการใช้ที่ดินเหมือนในอดีต และการใช้ที่ดินแบบอนุรักษ์จะมีปริมาณการสูญเสียตะกอนดินน้อยที่สุด ตามลำดับ ดังแสดงตาม Figure 3

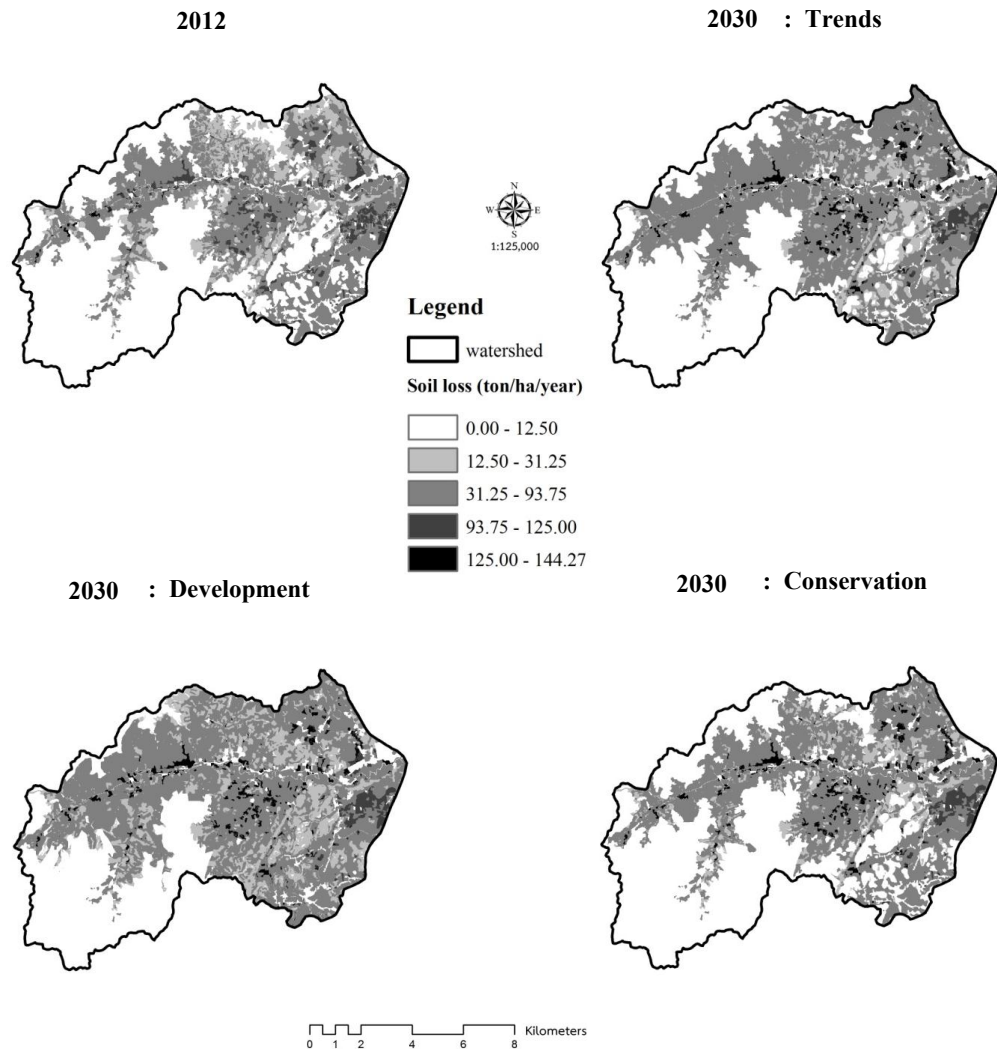


Figure 3 On-site erosion rate in 2030 simulated by USLE model for Klongchumphon Watershed.

การคาดการณ์ความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดิน

ผลการคาดการณ์ระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดิน บริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพร ตามภาพเหตุการณ์การใช้ที่ดิน พบว่า ปี พ.ศ. 2555 มีความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินอยู่ในระดับน้อย (slight) ทุกภาพเหตุการณ์ โดยมีอัตราการสูญเสียดิน 3.46 - 4.28 ตัน/ไร่/ปี และใน ปี พ.ศ. 2573 มีความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินอยู่ในระดับปานกลาง (moderate) หากใช้ที่ดินแบบพัฒนา และมี

ความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินระดับน้อย (slight) หากใช้ที่ดินเหมือนในอดีตและแบบอนุรักษ์ โดยมีอัตราการสูญเสียดิน 4.07-5.07 ตัน/ไร่/ปี ซึ่งเป็นระดับการสูญเสียดินที่เกินมาตรฐานที่ยอมรับได้สำหรับดินในประเทศไทย (Land Development Department, 2000)

การประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์บริการของระบบนิเวศ

ผลการคาดการณ์มูลค่าต้นทุนในการขุดลอกตะกอนในลำธาร บริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพร ตามภาพ

เหตุการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2555 และ ปี พ.ศ. 2573 โดยใช้อัตราส่วนการถูกพัดพาเป็นตะกอนในลำน้ำ (sediment delivery ratio: SDR) ปี พ.ศ. 2555 ซึ่งเท่ากับ 0.076 และตะกอนแขวนลอยที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี X.53A เท่ากับ 49,780 ตัน (Royal Irrigation Department, 2012) และปริมาณดินที่ถูกกัดเซาะ (on site soil erosion) ที่ได้จากสมการ USLE เท่ากับ 656,994 ตัน อัตราราคางานต่อหน่วยในการขุดลอกร่องน้ำและเคลื่อนย้ายตะกอนลูกบาศก์เมตรละ 30.22 บาท (Bureau of the Budget, 2012) และอัตราดอกเบี้ยเงินฝาก ร้อยละ 0.87 ต่อปี (Bank of Ayudhya Public Company Limited, 2012) คาดว่าในปี พ.ศ. 2573 กลุ่มน้ำคลองชุมพรจะมีต้นทุนในการขุดลอกตะกอนในลำธาร มูลค่า 1.36 - 1.68 ล้านบาท ซึ่งหากมีการใช้ที่ดินแบบพัฒนาจะมีต้นทุนมากที่สุด รองลงมาเป็นการใช้ที่ดินเหมือนในอดีต และการใช้ที่ดินแบบอนุรักษ์ ตามลำดับ

ผลการประเมินมูลค่าการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดิน บริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพร ตามภาพเหตุการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2555 และ ปี พ.ศ. 2573 โดยอ้างอิงข้อมูลปริมาณธาตุอาหารหลัก (N P และ K) ในดิน 1 กิโลกรัม บนเขาคอหงส์ จังหวัดสงขลา ซึ่งเท่ากับ 0.13, 3.17×10^{-6} และ 47.71×10^{-6} กิโลกรัม ตามลำดับ (Nuanmano, 2013) เนื่องจากในพื้นที่ศึกษาไม่มีการศึกษาวิจัยเรื่องธาตุอาหารในตะกอนแขวนลอยและพื้นที่บนเขาคอหงส์มีลักษณะทางธรณีวิทยาเหมือนกับลุ่มน้ำคลองชุมพร โดยมูลค่าของธาตุอาหารไนโตรเจน (N) นำมาเปรียบเทียบกับราคาแม่ปุ๋ยไนโตรเจนหรือยูเรีย (urea) สูตร 46-0-0 ราคากระสอบละ (50 กิโลกรัม) เท่ากับ 815 บาท มูลค่าธาตุอาหารฟอสฟอรัส (P) นำมาเปรียบเทียบกับราคาแม่ปุ๋ยฟอสเฟต (DAP) สูตร 18-46-0 ราคากระสอบละ (50 กิโลกรัม) เท่ากับ 1,200 บาท และมูลค่าธาตุอาหารโพแทสเซียม (K) นำมาเปรียบเทียบกับราคาแม่ปุ๋ยโพแทสเซียม (MOP) สูตร 0-0-60 ราคากระสอบละ (50 กิโลกรัม) เท่ากับ 1,040 บาท (Department of Internal Trade, 2012) และคาดว่า ปี พ.ศ. 2573 กลุ่มน้ำคลองชุมพร มีมูลค่าการสูญเสียธาตุ

อาหารหลัก (N P และ K) จากการชะล้างพังทลายของดินเฉลี่ยเท่ากับ 2,126 ล้านบาท หรือคิดเป็น 11,320 บาท/ไร่ ซึ่งการใช้ที่ดินแบบพัฒนา มีมูลค่าการสูญเสียธาตุอาหารหลักมากที่สุด เท่ากับ 12,455 บาท/ไร่ รองลงมาเป็นการใช้ที่ดินเหมือนในอดีตและแบบอนุรักษ์ ซึ่งมีมูลค่าการสูญเสียธาตุอาหารหลัก เท่ากับ 11,388 และ 10,092 บาท/ไร่ตามลำดับ

สรุป

ลุ่มน้ำคลองชุมพร เป็นแหล่งบริการทางนิเวศที่สำคัญต่อชุมชนในพื้นที่โดยรอบ การบุกรุกพื้นที่ป่าและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่ไม่เหมาะสม ในการปลูกยางพารา ปาล์มน้ำมัน สวนผสม และที่อยู่อาศัย ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศและชุมชนโดยรอบ อีกทั้งยังเป็นสาเหตุให้เกิด การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า การชะล้างพังทลายของดิน และการสูญเสียธาตุอาหารหลักของพืช

การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพร ปี พ.ศ. 2573 ตามภาพเหตุการณ์การใช้ที่ดิน 3 แบบ คาดว่าพื้นที่สวนยางพาราเพิ่มขึ้นทุกทางเลือก แต่การใช้ที่ดินทำนาข้าวลดลงในทุกทางเลือกเช่นกัน โดยพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด คือ นาข้าว หากการใช้ที่ดินเปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มของการใช้ที่ดินในอดีต พื้นที่ป่าไม้จะลดลงอย่างต่อเนื่อง พื้นที่สวนยางพาราจะเพิ่มขึ้น ส่วนการใช้ที่ดินประเภทอื่นจะลดลงเช่นกัน แต่ถ้ามีการป้องกันรักษาป่าไม้ที่เหลืออยู่อย่างเข้มงวดให้พื้นที่ป่าไม่คงสภาพเดิม พื้นที่สวนยางพาราและชุมชนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนการใช้ที่ดินประเภทอื่นก็ลดลงเล็กน้อยเช่นกัน และถ้าพื้นที่ป่าไม้ถูกบุกรุกทำลายอย่างรุนแรง ไม่สามารถรักษาพื้นที่ป่าสงวนไว้ได้ พื้นที่ป่าไม้จะถูกบุกรุกเปลี่ยนเป็นพื้นที่ยางพารา ปาล์มน้ำมัน สวนผสม ชุมชน และอื่นๆ แทน โดยเปลี่ยนเป็นยางพารามากที่สุด ส่วนนาข้าวจะหมดไป

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนในปี พ.ศ. 2573 ตามภาพเหตุการณ์การใช้ที่ดินที่แตกต่างกัน 3 แบบ คาดว่าปริมาณน้ำท่าและและปริมาณ

ตะกอนเพิ่มขึ้นทุกภาพเหตุการณ์ ตามปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอน ปี พ.ศ. 2555 โดยปริมาณน้ำท่า และปริมาณตะกอนเพิ่มมากที่สุด เมื่อมีการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบพัฒนาอัตรการสูญเสียดิน 5.07 ตัน/ไร่/ปี และมีต้นทุนในการขุดลอกตะกอนในลำธาร 1.68 ล้านบาท/ปี รองลงมาเป็นการใช้ที่ดินเหมือนในอดีต และการใช้ที่ดินแบบอนุรักษ์ จะมีปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนลดลงตามลำดับ โดยมีอัตรการสูญเสียดิน 4.60 และ 4.07 ตัน/ไร่/ปี ต้นทุนในการขุดลอกตะกอนในลำธาร 1.54 และ 1.36 ล้านบาท/ปี ตามลำดับ

มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของต้นทุนจากการสูญเสียดิน บริเวณลุ่มน้ำคลองชุมพร ปี พ.ศ. 2573 ตามภาพเหตุการณ์การใช้ที่ดิน 3 แบบ คาดว่าจะมีต้นทุนในการขุดลอกตะกอนในลำธาร เป็นมูลค่า 1.36-1.68 ล้านบาท ซึ่งหากมีการใช้ที่ดินแบบพัฒนา จะมีต้นทุนในการขุดลอกตะกอนมากที่สุด รองลงมาเป็นการใช้ที่ดินเหมือนในอดีต และการใช้ที่ดินแบบอนุรักษ์ ตามลำดับ และมูลค่าการสูญเสียธาตุอาหารหลัก (N P และ K) จากการชะล้างพังทลายของดินเท่ากับ 2,126 ล้านบาท คิดเป็น 11,320 บาท/ไร่ ซึ่งการใช้ที่ดินแบบพัฒนามีมูลค่าการสูญเสียธาตุอาหารหลักมากที่สุด เท่ากับ 12,455 บาท/ไร่ รองลงมาเป็นการใช้ที่ดินเหมือนในอดีต และการใช้ที่ดินแบบอนุรักษ์ ซึ่งมีมูลค่าการสูญเสีย เท่ากับ 11,388 และ 10,092 บาท/ไร่ ตามลำดับ ดังนั้น รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินตามภาพเหตุการณ์ที่ 2 (conservation scenario) จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ไม่ถูกทำลาย ปริมาณน้ำท่า และปริมาณตะกอนน้อยที่สุด มูลค่าการสูญเสียดินและการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดินน้อยที่สุดเช่นกัน

REFERENCES

- Bank of Ayudhya Public Company Limited. 2012. **Deposit rate**. Bank of Ayudhya Public Company Limited. (in Thai)
- Bureau of the Budget. 2012. **Unit rate**. Standard Budget Bureau, Bureau of the Budget, Bangkok. (in Thai)
- Department of Internal Trade. 2012. **Major fertilizer price rate**. Department of Internal Trade, Ministry of Commerce. (in Thai)
- Land Development Department. 2000. **Soil erosion in Thailand**. Land Development Department, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok. (in Thai)
- Meteorological Department. 2012. **Climate statistics 1983-2012**. Meteorological Department, Ministry of Information and Communications Technology, Bangkok. (in Thai)
- Nuanmano, N. 2013. **Soil Erosion on Kho Hong Hill and Its Economic Loss, Hat Yai District, Songkhla Province**. M.S. Thesis, Prince of Songkhla University. (in Thai)
- Pontius, R. G. Jr., and L. C. Schneider. 2001. Land-Cover Change Model Validation by an ROC Method for the Ipswich Watershed, Massachusetts, USA. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 85 (1-3):239-248.
- Royal Irrigation Department. 2012. **Runoff and sediment statistic**. Hydrology and water management center for southern region, Royal Irrigation Department, Bangkok. (in Thai)
- Tangtham, N. 1984. **Soil Erosion Control**. Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University. (in Thai)

- Tillis, H.T., T. Ricketts, A.D. Guerry, S.A. Wood, R. Sharp, E. Nelson, D. Ennaanay, S. Wolny, N. Olwero, K. Vigerstol, D. Pennington, G. Mendoza, J. Aukema, J. Foster, J. Forrest, D. Cameron, K. Arkema, E. Lonsdorf, C. Kennedy, G. Verutes, C.K. Kim, G. Guannel, M. Papenfus, J. Toft, M. Marsik and J. Bernhardt. 2011. **InVEST 2.2.2 User's Guide**. The Natural Capital Project, Stanford.
- Trisurat, Y., R. Alkemade and P.H. Verburg. 2010. Projecting land-use change and its consequences for biodiversity in Northern Thailand. **Environ Manag** 45: 626-639.
- _____. and P. Duengkae. 2011. Consequences of land use change on bird distribution at Sakaerat Environmental Research Station. **J. Ecol. Field Biol.** 34 (2): 203-214.
- Veldkamp, A., and L. O. Fresco. 1996. CLUE-CR: an integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. **Ecological modeling** 91: 231-24.
- Verburg, P.H., A. Veldkamp and J. Bouma. 1999. Land use change under conditions of high population pressure: the case of Java. **Global Environmental Change** 9: 303-312.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide for conservation planning. 63 p., USDA, **Agriculture Hand Book** No 537.
- World Resources Institute. 2005. **Ecosystems and human well-being: Wetlands and water synthesis**. United Nations, New York.
-